

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第32卷 第7期 Vol.32 No.7 **2012**

中国生态学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 32 卷 第 7 期 2012 年 4 月 (半月刊)

目 次

城市生态景观研究的基础理论框架与技术构架	孙然好, 许忠良, 陈利顶, 等 (1979)
拟南芥芥子酸酯对 UV-B 辐射的响应	李 敏, 王 垠, 牟晓飞, 等 (1987)
蛋白核小球藻对 Pb(II) 和 Cd(II) 的生物吸附及其影响因素	姜 晶, 李 亮, 李海鹏, 等 (1995)
梨枣在果实生长期对土壤水势的响应	韩立新, 汪有科, 张琳琳 (2004)
产业生态系统资源代谢分析方法	施晓清, 杨建新, 王如松, 等 (2012)
基于物质流和生态足迹的可持续发展指标体系构建——以安徽省铜陵市为例	
.....	赵卉卉, 王 远, 谷学明, 等 (2025)
河北省县域农田生态系统供给功能的健康评价	白琳红, 王 卫, 张 玉 (2033)
温郁金内生真菌 <i>Chaetomium globosum</i> L18 对植物病原菌的抑菌谱及拮抗机理	
.....	王艳红, 吴晓民, 朱艳萍, 等 (2040)
基于稳定碳同位素技术的华北低丘山区核桃-小麦复合系统种间水分利用研究	
.....	何春霞, 孟 平, 张劲松, 等 (2047)
云贵高原喀斯特坡耕地土壤微生物量 C、N、P 空间分布	张利青, 彭晚霞, 宋同清, 等 (2056)
水稻根系通气组织与根系泌氧及根际硝化作用的关系	李奕林 (2066)
苹果绵蚜对不同苹果品种春梢生长期生理指标的影响	王西存, 于 毅, 周洪旭, 等 (2075)
磷高效转基因大豆对根际微生物群落的影响	金凌波, 周 峰, 姚 涓, 等 (2082)
基于 MODIS-EVI 数据和 Symlet11 小波识别东北地区水稻主要物候期	
.....	徐岩岩, 张佳华, YANG Limin (2091)
基于降水利用比较分析的四川省种植制度优化	王明田, 曲辉辉, 杨晓光, 等 (2099)
气候变暖对东北玉米低温冷害分布规律的影响	高晓容, 王春乙, 张继权 (2110)
施肥对巢湖流域稻季氨挥发损失的影响	朱小红, 马中文, 马友华, 等 (2119)
丛枝菌根真菌对枳根净离子流及锌污染下枳苗矿质营养的影响	肖家欣, 杨 慧, 张绍铃 (2127)
不同 R:FR 值对菊花叶片气孔特征和气孔导度的影响	杨再强, 张 静, 江晓东, 等 (2135)
神农架海拔梯度上 4 种典型森林凋落物现存量及其养分循环动态	刘 蕾, 申国珍, 陈芳清, 等 (2142)
黄土高原刺槐人工林地表凋落物对土壤呼吸的贡献	周小刚, 郭胜利, 车升国, 等 (2150)
贵州雷公山秃杉种群生活史特征与空间分布格局	陈志阳, 杨 宁, 姚先铭, 等 (2158)
LAS 测算森林冠层上方温度结构参数的可行性	郑 宁, 张劲松, 孟 平, 等 (2166)
基于 RS/GIS 的重庆缙云山自然保护区植被及碳储量密度空间分布研究	
.....	徐少君, 曾 波, 苏晓磊, 等 (2174)

模拟氮沉降增加对寒温带针叶林土壤 CO₂ 排放的初期影响 温都如娜,方华军,于贵瑞,等 (2185)

桂江流域附生硅藻群落特征及影响因素..... 邓培雁,雷远达,刘 威,等 (2196)

小浪底水库排沙对黄河鲤鱼的急性胁迫..... 孙麓垠,白音包力皋,牛翠娟,等 (2204)

上海池塘养殖环境成本——基于双边界二分式 CVM 法的实证研究 唐克勇,杨正勇,杨怀宇,等 (2212)

稻纵卷叶螟绒茧蜂对寄主的搜索行为 周 慧,张 扬,吴伟坚 (2223)

农林复合系统中灌木篱墙对异色瓢虫种群分布的影响..... 严 飞,周在豹,王 朔,等 (2230)

苹果脱乙酰几丁质发酵液诱导苹果叶片对斑点落叶病的早期抗性反应.....
..... 王荣娟,姚允聪,戚亚平,等 (2239)

专论与综述

气候变化影响下海岸带脆弱性评估研究进展..... 王 宁,张利权,袁 琳,等 (2248)

外来红树植物无瓣海桑引种及其生态影响 彭友贵,徐正春,刘敏超 (2259)

问题讨论

城市污泥生物好氧发酵对有机污染物的降解及其影响因素..... 余 杰,郑国砥,高 定,等 (2271)

4 种绿化树种盆栽土壤微生物对柴油污染响应及对 PAHs 的修复 闫文德,梁小翠,郑 威,等 (2279)

研究简报

云南会泽铅锌矿废弃矿渣堆常见植物内生真菌多样性..... 李东伟,徐红梅,梅 涛,等 (2288)

南方根结线虫对不同砧木嫁接番茄苗活性氧清除系统的影响 梁 朋,陈振德,罗庆熙 (2294)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 322 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 37 * 2012-04



封面图说: 站立的仓鼠——仓鼠为小型啮齿类动物,栖息于荒漠、荒漠草原等地带的洞穴之中。白天他们往往会躲在洞穴中睡觉和休息,以避开天敌的攻击,偶尔也会出来走动,站立起来警惕地四处张望。喜欢把食物藏在腮的两边,然后再走到安全的地方吐出来,由此得仓鼠之名。它们的门齿会不停的生长,所以它们的上下门齿必须不断啃食硬东西来磨牙,一方面避免门齿长得太长,妨碍咀嚼,一方面保持门牙的锐利。仓鼠以杂草种子、昆虫等为食。

彩图提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201108111176

王荣娟,姚允聪,戚亚平,李小萌,姬谦龙. 苹果脱乙酰几丁质发酵液诱导苹果叶片对斑点落叶病的早期抗性反应. 生态学报, 2012, 32(7): 2239-2247.

Wang R J, Yao Y C, Qi Y P, Li X M, Ji Q L. Induction of early resistance response to *Alternaria alternate* f. sp. *mali* in apple leaves with apple and chitosan fermentation broth. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(7): 2239-2247.

苹果脱乙酰几丁质发酵液诱导苹果叶片对 斑点落叶病的早期抗性反应

王荣娟^{1,2}, 姚允聪¹, 戚亚平^{1,3}, 李小萌¹, 姬谦龙^{1,*}

(1. 北京农学院, 北京 102206; 2. 山东省夏津县蔬菜局, 山东夏津 253200;

3. 内蒙古准格尔旗第一中学, 内蒙古准格尔 017100)

摘要: 苹果发酵液 (Apple fermentation broth, AFB) 是用生理落果、人工疏果和采前落果等无商品价值的果实, 经快速发酵制成的植物源营养制剂。苹果脱乙酰几丁质发酵液是在发酵前将脱乙酰几丁质加入粉碎的苹果果实中, 共同发酵制成。本试验旨在探讨苹果脱乙酰几丁质发酵液诱导的苹果叶片对斑点落叶病 (*Alternaria alternate* f. sp. *mali*) 的抗性机制。以 2 年生宫藤富士苹果 (*Malus domestica* Borkh. CV. 'kudowu') 幼树为试材, 以喷施苹果发酵液 (AFB)、苹果脱乙酰几丁质、发酵液 (ACFB) 和脱乙酰几丁质制备液 (CHN) 为处理, 喷清水为对照。测定接种斑点落叶病菌病原菌后, 苹果叶片的病情指数和防治效果, 同时测定活性氧、木质素、交联蛋白的沉积状况、活性氧含量和抗氧化酶 (过氧化物酶 POD、超氧化物歧化酶 SOD 和过氧化氢酶 CAT) 的活性。结果表明, ACFB 处理叶片的病情指数比对照降低了 4.3%, 防治效果比对照提高了 40.7%, AFB 处理叶片的病情指数比对照降低了 2.4%, 防治效果比对照提高了 22.2%。斑点落叶病菌病原菌接种 12h 后, ACFB 处理叶片在病原菌侵染位点上的活性氧、木质素和交联蛋白的沉积量比对照显著增加, 其中活性氧比对照增加 30%; 各处理叶片超氧阴离子自由基和过氧化氢含量分别在接种后 12h 和 36h、3h 和 24h 出现两个高峰。病原菌接种后 9—72h, ACFB 处理叶片的 POD 酶和 SOD 酶活性高于对照, 而 CAT 酶活性较对照低。由此可见, 喷施苹果脱乙酰几丁质发酵液, 可有效诱导苹果叶片对斑点落叶病的抗性, 其诱导反应可能与侵染早期叶片活性氧迸发及抗氧化代谢有关。

关键词: 苹果果实发酵液; 脱乙酰几丁质; 斑点落叶病; 活性氧; 抗氧化

Induction of early resistance response to *Alternaria alternate* f. sp. *mali* in apple leaves with apple and chitosan fermentation broth

WANG Rongjuan^{1,2}, YAO Yuncong¹, QI Yaping^{1,3}, LI Xiaomeng¹, JI Qianlong^{1,*}

1 Beijing University of Agriculture, Beijing 102206, China

2 Vegetables Bureau of Xiajin County Shandong Province, Shandong 253200, China

3 The No. 1 Middle School of Zhungeer, Inner Mongolia 017100, China

Abstract: Apple fermentation broth (AFB) is a kind of natural agent which is made from rapid fermentation of physiological dropping fruits, artificial thinning fruits and fruits dropping before harvest. Apple and Chitosan Fermentation Broth (ACFB) is made by apple and chitosan. The objective of the experiment was to explore the mechanism of resistance response to *Alternaria alternate* f. sp. *mali* in apple leaves induced by ACFB. The leaves of 2-year-old apple trees (*Malus domestica* Borkh. CV. 'kudowu') were sprayed with apple fruit broth (AFB), apple and chitosan fermentation broth

基金项目: 国家科技支撑重大项目资助 (2008BAD92B08); 北京市农委资助项目 (20070624); 北京农学院基础科学基金资助项目 (062ZD2 JW205)

收稿日期: 2011-08-11; 修订日期: 2012-02-22

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jqlbs@163.com

(ACFB), chitosan (CHN) and water (CK). The disease index, control effect, deposition of reactive oxygen species (ROS), lignin (LIG) and link protein (LIP), contents of the reactive oxygen, and the activities of POD, SOD and CAT were investigated after inoculated by pathogen under the above treatments. The results showed the disease index decreased by 4.3% and 2.4% and control effect increased by 40.7% and 22.2% treated by ACFB and AFB respectively, compared to CK. The frequency of ROS, lignin and cross-linked protein deposition in leaves treated by ACFB increased significantly at 12h after inoculation, and the content of reactive oxygen species of were 30% higher than CK. Two peaks were observed in O_2^- at 12h and 36h and in H_2O_2 at 3h and 24h after inoculation. Compared to CK, the leaves treated by ACFB showed higher activities of POD and SOD and a lower activity of CAT at 9—72h after inoculation. It suggests that ACFB can effectively induce the resistance to leaf spot in apple leaves, which may relate to oxidative burst and antioxidant metabolism at early stage after inoculation.

Key Words: apple fermentation broth (AFB); chitosan; *Alternaria alternata* f. sp. *mali*; reactive oxygen species (ROS); anti-oxidation

果实发酵液是利用果园生理落果、人工疏果和采前落果等无商品价值的果实,经快速腐熟发酵制成的植物源营养制剂。研究表明,其具有促进果树生长、改善果实品质、增强植株抗性等作用^[1-2]。随着果树有机化栽培技术的研发,基于果园生态体系物质循环理念,利用果园生产中的植物残体制作有机肥料、杀虫抑菌剂及抗性诱导剂的开发已经受到研究者的关注。黄伟菁^[3]等认为苹果果实发酵液含有丰富的有机酸、氨基酸、腐植酸、蛋白质、粗纤维素、维生素和多种矿质养分等营养成分。喷施苹果幼果发酵液能够明显提高树体生长,改善果实品质,减少 α -法呢烯的含量,降低苹果虎皮病的发生率^[4-5]。耿健等^[6]认为芳香植物源发酵液含有丰富的矿质元素、有机和无机营养、生长素、细胞分裂素、脱落酸等激素,叶面喷施能显著促进梨树体的营养生长,提高叶片矿质养分含量,改善果实品质,有效抑制梨树黑星病、轮纹病、腐烂病害的发生。然而,其促生、抑害、诱抗的生理机理还未得到深入的研究。

苹果斑点落叶病,又叫早期落叶病,是我国苹果产区流行的主要病害之一。近年来,许多研究者就其防治方法如生物制剂开发等进行了许多有益的研发工作。王文娟等^[7]研究发现,苯并噻二唑可通过增加苯丙氨酸解氨酶活性、木质素含量、富含羟脯氨酸糖蛋白含量,来诱导苹果植株对斑点落叶病产生抗性。Lin^[8]研究发现,调节镉含量可诱导植株早期活性氧(reactive oxygen species, ROS)应激反应,以提高植物的抗逆性。本课题组以往研究也发现,植物源(苹果果实、芳香植物)发酵液由于含有无机养分、有机养分和生理活性物质如抗氧化物质、芳香物质和激素等,其对苹果、梨叶片轮纹病、腐烂病、黑星病具有表面抑制作用,并通过提高处理植株生长发育能力和生理活性,进而增强了植物自身对病害的抗性^[3-5]。除植物源发酵液外,海鲜类发酵液在生产中也广泛应用,而脱乙酰几丁质(CHN)是一类来源于海洋生物、昆虫等甲壳中的高分子物质,在海鲜类发酵液中其含量较高。将脱乙酰几丁质加入苹果果肉中,共同发酵后,喷施植物,检测复合发酵液对苹果幼树早期落叶病产生的诱导抗性,并研究这种抗性是否与提高植株的抗氧化能力有关。为此,本研究采用喷施苹果果实发酵液(AFB)、苹果果实与脱乙酰几丁质共发酵的苹果脱乙酰几丁质发酵液(ACFB)、脱乙酰几丁质制备液(CHN)及清水(CK)4个处理,考察植株叶片感病、抗病性、活性氧迸发时间和抗氧化酶活性的变化,探讨其对叶片抗斑点落叶病诱导的作用机理,为植物源发酵液在提高植物抗病性方面的应用提供理论依据。

2 材料与方法

2.1 试验材料

2.1.1 植物材料

试验选取生长健壮、长势一致的2年生宫藤富士(*Malus domestica* Borkh. CV. 'Kudowu')平邑甜茶(*Malus hupehensis* var. *pingyiensis*)。于2009年植入上口直径32 cm、下口直径为28 cm的塑料盆内,盆中基质为:园

土:蛭石:草炭:有机肥=3:3:3:1,正常管理。本试验于2010年4月中下旬开始进行。

2.1.2 处理用发酵液制备

苹果果实发酵液(AFB)制作:所用材料为宫藤富士成熟果,将果实洗净后粉碎成浆状,按苹果:水:红糖:酵素:水=50:20:2:1的比例混合,置入玻璃器皿中,用纱布封口,28℃条件下,发酵25—30d,制得苹果果实发酵液。红糖由广西制糖厂生产;酵素为“绿洲4号”,由中韩合资佳木斯绿洲酵素有限公司提供。

苹果脱乙酰几丁质发酵液(ACFB)制作:发酵前,按照苹果果实与CHN质量比为1000:1的比例将脱乙酰几丁质(CHN,国产生物级)加入到粉碎的浆状苹果中,相同条件下发酵制成。

脱乙酰几丁质(CHN)原液的制备:CHN,国产生物级。在9.5mL重蒸水中加入100mgCHN,再加入300μL的冰乙酸,经酸解24h后,用1mol/L NaOH调至pH6.0,再用重蒸水透析24h,中间换水2—3次。透析后的CHN原液作为母液分装后置于-20℃冰箱中贮存备用。树体喷施时将CHN调至1mg/mL。

2.1.3 苹果斑点落叶病病原菌的培养与分生孢子悬浮液的制备

将苹果斑点落叶病病原菌接种到PDA培养基(马铃薯200g/L,琼脂粉10g/L,葡萄糖20g/L高压121℃灭菌20min)上,于26℃下培养5d。后在超净工作台刮去表面菌丝,继续培养2d,反复3次,即可产生大量孢子。将培养皿中孢子和菌丝,用无菌水冲洗后,单层擦镜纸过滤2次,即得孢子悬浮液。用血小球计数板计数,使其浓度为 2×10^6 个/mL,加入Tween 20(体积分数0.05%)备用。

2.2 试验设计

2.2.1 斑点落叶病病原菌侵染及致病力检测

取苹果新梢第2—3位叶片,置入铺有蒸馏水浸透的双层滤纸培养皿中,左侧创伤接种无菌清水,右侧创伤接种斑点落叶病菌孢子悬浮液(2×10^6 个/mL),接种后置于人工气候箱中培养,培养温度25℃。于接种后6、24h后,取叶片组织采用组织整体透明染色法^[9]观察病原菌侵染情况。将叶片置入95%乙醇和棉兰乳酚油等量混合液中(乳粉油:苯酚:乳酸:甘油:蒸馏水=1:1:2:1。乳酚油中加入0.05%—0.1%的棉蓝即得棉蓝乳酚油混合液)。室温下静置48h以上。取出叶片用蒸馏水漂洗2次,后将叶片置入水合氯醛的饱和溶液(5g水合氯醛加2mL水)中30min。取出后,清水漂洗叶片,50%甘油做浮载剂制片,观察孢子萌发和菌丝生长状况。接种1周后,观察病斑形成情况。

2.2.2 发酵液喷施试验设计

试验共设置4个处理。处理I(AFB):喷施苹果果实发酵液100倍液;处理II(ACFB):喷施苹果脱乙酰几丁质共发酵液100倍液,处理III(CHN):喷施1mg/mL脱乙酰几丁质原液,处理IV(CK):喷施清水。随机区组设计,每处理10株,3次重复。处理时于上午10点前喷施苹果幼树,每隔5d喷施1次,共喷施3次。第3次喷施3d后,在全株叶片上下表面均匀接种苹果斑点落叶病病原菌孢子悬浮液(2×10^6 个/mL),接种后扣小拱棚,保持棚内相对湿度85%以上。封闭管理。

2.3 测试指标

2.3.1 幼树叶片的病情指数与防治效果测定

幼树叶片接种后8d,统计叶片病斑个数,感病程度按照4级^[10]分类,标准为0级:无病斑;1级:病斑面积不超过叶面积1/10;2级:病斑面积占叶面积的1/10—1/5;3级:病斑面积占叶面积的1/5—1/3;4级:病斑面积占叶面积的1/3—3/4;病情指数= $[\sum(\text{各级病叶}\times\text{该病级值})/(\text{调查总叶}\times\text{最高病级值})]\times 100$;防止效果= $[(\text{对照病指}-\text{处理病指})/\text{对照区病指}]\times 100$ 。

2.3.2 幼树叶片活性氧、交联蛋白及木质素沉积百分率

活性氧积累采用二氨基联苯胺(Diaminobenzidine, DAB)染色法^[11]。于接种后12h,取苹果幼树叶片的病斑边缘部分,切成边长0.5cm的小块,每处理5个叶片小块,用蒸馏水洗净。取适量DAB染液(1mg/mL, pH 3.8),用NaOH调pH值至5.8,分别加入植物组织小块,28℃避光保存8h。随后吸去染液,加入80%乙醇,沸水浴数分钟,吸出液体,加入无水乙醇并沸水浴直至叶片绿色完全脱去为止,再次吸出液体,加入无水乙醇,置

于4℃冰箱内保存24h后,用荧光倒置显微镜(Axiovert 200,生产商 Carl Zeiss AG)观察记载,每小块取10个视野,观察记录后统计分析,得出接种点沉积百分比。

木质素(lignin, LIG)沉积观察采用间苯三酚-盐酸染色法^[12]。病原菌接种后72h,用镊子将叶片撕取为较薄组织或刮去部分叶肉留取表皮,每处理撕取5块,用1%的间苯三酚-盐酸染色10min,用50%甘油+6N的盐酸包埋到载玻片上,用荧光倒置显微镜(Axiovert 200,生产商 Carl Zeiss AG)观察,每小块观察10个视野,记载侵染点沉积百分比。

交联蛋白(link protein, LIP)沉积观察采用考马斯亮蓝染色法^[13]。病菌接种后72h,将叶片撕取为较薄组织或刮去部分叶肉留取表皮,每处理取5个小块,将其在80℃浸没在1% SDS 24 h,用0.1%的考马斯亮蓝/40%乙醇/10%乙酸15min,用40%乙醇/10%乙酸溶液冲洗。后置于载玻片上,用荧光倒置显微镜(Axiovert 200,生产商 Carl Zeiss AG)观察,每小块取10个视野,记载侵染点沉积百分比。

2.3.3 幼树叶片活性氧含量及相关酶活性

由上述试验得出抗性最佳发酵液,筛选出的发酵液处理与脱乙酰几丁质和清水对照,三者进行抗氧化代谢酶活性的测定。活性氧以超氧阴离子自由基(O_2^-)和过氧化氢(Hydrogen peroxide, H_2O_2)为代表。 O_2^- 含量采用羟胺氧化法,参照王爱国等^[14]的方法测定。 H_2O_2 含量参照林植芳等^[15]的方法测定。过氧化氢酶(catalase, CAT)、超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)、过氧化物酶(peroxidase, POD)活性参照张志良等^[16]的方法测定。

2.4 数据分析

采用 Microsoft Excel 2003 和 DPS8.01 版软件处理数据。

3 结果与分析

3.1 离体培养皿中叶片病原菌侵染情况的显微观察

由图1可见,病原菌在培养皿中的叶片上接种6h后,孢子(SP)萌发,大量芽管(GT)伸长,初级菌丝(IH)生长。病原接种24h后,叶片菌丝生长产生多个分支,有二级菌丝的生长,病菌侵染在叶片表面扩张。病菌接种一周后,在叶片表面形成明显病斑。由此证实,斑点落叶病病原菌对苹果叶片具有致病力。

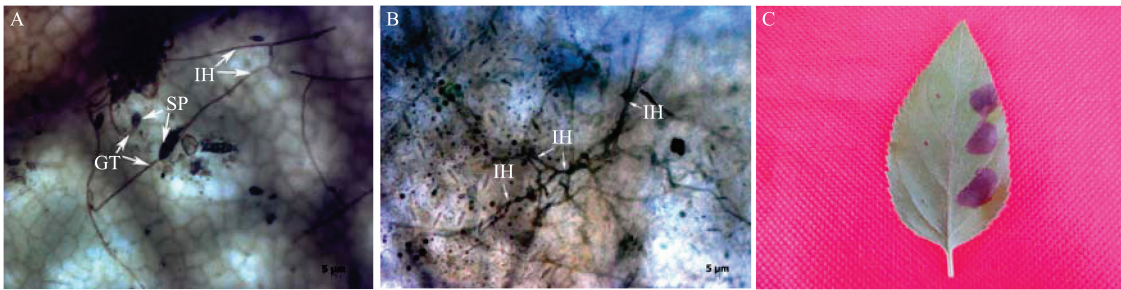


图1 离体叶片接种后病原菌的侵染及病斑形成

Fig. 1 Inoculation of pathogen and formation of lesions on apple leaves inoculated in culture dish

A, 病菌接种12h,孢子的萌发和生长;B,病菌侵染48h,菌落形成;C,病菌侵染一周,形成病斑,叶片左侧空接种未形成病斑,右侧接种病菌形成明显病斑。SP,孢子;GT,芽管;IH,侵染菌丝

3.2 不同处理条件下苹果幼树叶片对斑点落叶病的病情指数与防治效果

由表1可知,不同发酵液处理后的苹果幼树叶片对斑点落叶病的病情指数和防治效果存在差异。ACFB处理叶片的病情指数显著地小于对照,防治效果最好;AFB处理后,叶片的病情指数小于对照,防治效果比对照提高了22.2%。

表1 接种8d后各处理苹果幼树叶片的病情指数与防治效果

Table 1 Disease index and control effect of young apple leaves at 8 days after inoculation

处理 Treatments	病情指数 Disease index	防治效果 Control Effect
AFB	8.1 ab	22.2
ACFB	6.2 b	40.7
CHN	7.4 b	29.0
CK	10.5 a	—

a、b、c 为邓肯氏新复极差测验 $P<0.05$ 显著水平

3.3 不同处理条件下苹果幼树叶片病菌侵染处 ROS、LIG、LIP 沉积

由图 2 可见,经不同种类发酵液处理过的苹果幼树叶片,在病原菌侵染后的侵染位点上,出现了 ROS、LIG 和 LIP 的沉积。从 ROS 沉积来看,ACFB 处理的叶片 ROS 的沉积百分比最高,与对照差异极显著;CHN 处理的叶片 ROS 沉积百分比次之,与对照比差异显著;AFB 处理的叶片 ROS 沉积百分比与对照差异不显著(图 2A、D)。ACFB 处理的叶片 LIG 沉积与对照比差异显著。其他处理与对照差异不显著(图 2 B、E)。LIP 的沉积与 LIG 相同,ACFB 处理叶片沉积点显著多于对照(图 2C、F)。这说明 ACFB 处理的苹果幼树叶片,经斑点落叶病病原菌侵染后,既可诱导叶片的活性氧沉积,又能诱导叶片细胞的细胞壁形成抗性物质——木质素和细胞壁交联蛋白。

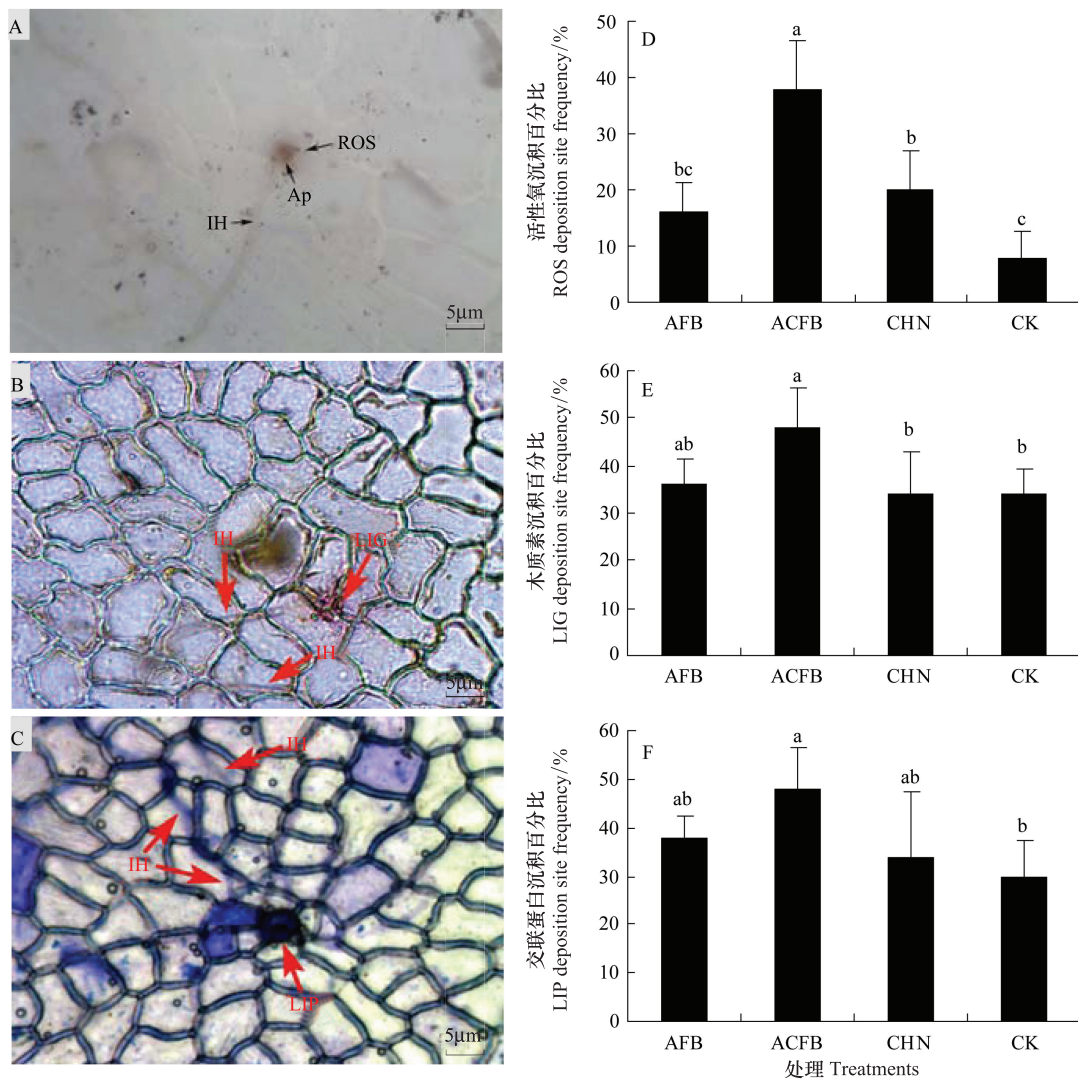


图 2 病原菌接种后各处理的苹果幼树叶片 ROS、LIG、LIP 的沉积百分比

Fig. 2 Deposition of ROS, LIG and LIP in apple leaves after inoculated by pathogen under different treatments

A: 病原菌接种 12h, ROS 沉积显微图片; B: 病菌接种 48h, LIG 沉积显微图片; C: 病菌接种 48h, 细胞壁 LIP 沉积显微图片; D: 各处理 ROS 沉积百分比; E: 各处理 LIG 沉积百分比; F: 各处理细胞壁 LIP 沉积百分比; IH: 侵染菌丝; Ap: 附着胞; a、b、c 为邓肯氏新复极差测验 $P < 0.05$ 显著水平

3.4 不同处理条件下苹果幼树叶片病菌接种后的 ROS 变化

从图 3 可以看出,ACFB 和 CHN 处理的叶片经病原菌侵染后,叶片 O_2^- 含量除 6h 和 60h 外,其它时间点均高于对照,且在 12h 和 48h 分别出现高峰;ACFB 处理叶片 H_2O_2 含量在病原菌接种后 3h 和 24h 分别出现

明显的两个峰值,在接种 24h 后,处理效果是 ACFB>CHN>CK(图 3)。表明经 ACFB 和 CHN 处理的苹果幼树叶片,在病原菌接种后 12h 和 24—48h 两个时间段,ROS 产生量增加。

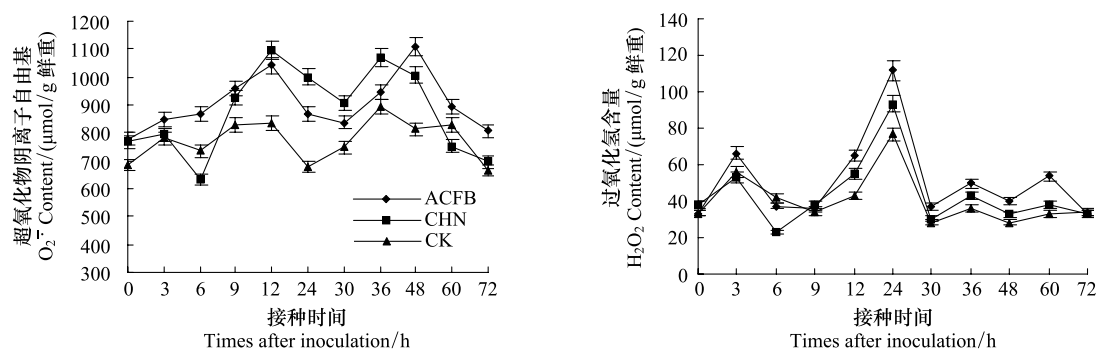


图 3 病菌接种后各处理的苹果叶片 $O_2^{\cdot-}$ 和 H_2O_2 含量的变化

Fig. 3 Changes of $O_2^{\cdot-}$ and H_2O_2 contents in apple leaves after inoculation

3.5 不同处理条件下苹果幼树叶片病菌接种后的抗氧化酶活性变化

如图 4 所示,在病原菌接种后的 0—6h 内,3 个处理 POD 活性均呈缓慢上升趋势,6h 后 ACFB 和 CK 处理叶片的 POD 活性继续上升,而 CHN 则下降。9h 和 30h 后,ACFB 和 CHN 处理的苹果幼树叶片的 POD 活性均高于对照。由图 4 可以看出,在病原菌接种后的 0—72h 内,3 处理的 SOD 活性分别在 6、12、60h 处出现峰值。ACFB、CHN 处理的苹果叶片 SOD 活性均显著高于对照(12h 处的 CHN 处理除外),尤其是在 60h 时,ACFB、CHN 的 SOD 活性极显著高于对照。各处理苹果叶片 CAT 活性在病菌接种 6h 和 24h 出现高峰。在病菌接种后的 0—48h 内,ACFB 和 CHN 处理的叶片 CAT 活性一直低于对照(图 4)。

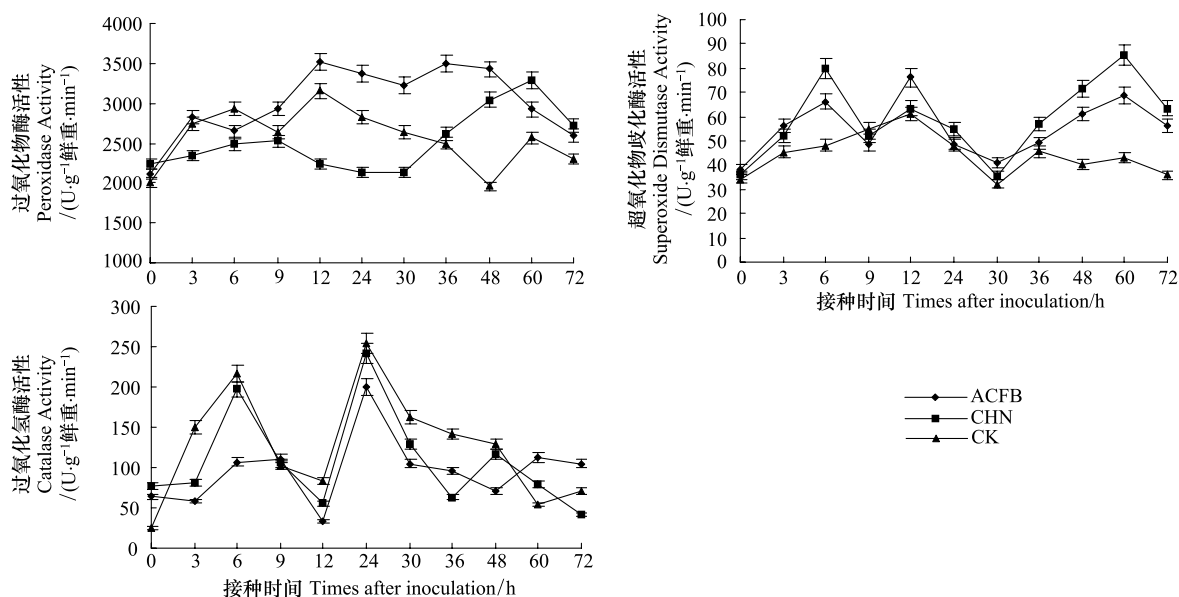


图 4 病菌接种后各处理的苹果叶片 POD、SOD、CAT 活性变化

Fig. 4 Changes of POD, SOD and CAT activities in apple leaves after inoculation

4 讨论

脱乙酰几丁质(CHN)是一类来源于海洋生物、昆虫等甲壳中的高分子物质,它可以作为激发子诱导过氧化氢的产生,增加植物的抗病能力,抑制外源病原菌的生长^[17]。本试验结果表明,用苹果果实发酵液、苹果脱乙酰几丁质发酵液和脱乙酰几丁质制备液处理过的苹果幼树叶片,对苹果斑点落叶病原菌的侵染,具有明显的抗性,这种作用表现为 ACFB 大于 CHN、大于 AFB,这一方面表明脱乙酰几丁质具有增强叶片抗病性的

作用;另一方面表明发酵液不仅能增强叶片的抗病性,同时还能促进脱乙酰几丁质发挥作用。有文献报道脱乙酰几丁质本身具有激发子作用,但需经过酸解透析,才可以对植物起作用^[18]。本试验中,苹果果实与脱乙酰几丁质共同发酵,微生物和酸性发酵环境可能更有利于脱乙酰几丁质分解,从而增强了脱乙酰几丁质的作用。威亚平等^[19]研究发现,苹果发酵液中加入 FeSO_4 可促进平邑甜茶根系对铁的吸收,其效果显著高于单独施用铁制剂和苹果发酵液,推测苹果发酵液不仅可以作为肥料为植物直接提供各种营养,而且能够为益生菌、功能物质、调节物质等提供一个良性微环境,产生增效效应。

活性氧迸发被认为是植物对病原菌应答的最早期反应之一。通常情况下,植物受病原菌侵染早期可迅速产生大量活性氧,且能迅速降低,其主要作为信号诱导植株其他抗性反应;而植株发病后,活性氧维持高水平,此时的 ROS 的含量可反映植物的受损伤程度^[20]。本文讨论的是,在病原菌接种早期(0—72h)活性氧的变化,即活性氧作为信号物质的变化情况。本试验中,病菌接种后的 3h 和 12—24h,产生两个活性氧高峰,前一个高峰, H_2O_2 较后一高峰产生较多; O_2^- 先产生, H_2O_2 在其产生后 12h 大量产生。同时,苹果脱乙酰几丁质发酵液比对照的高峰值明显较高。研究发现多数植物在病原菌接种后的抗性诱导均会产生两次活性氧高峰,且 H_2O_2 较早产生、量少,而后 O_2^- 大量产生,接着 H_2O_2 大量产生。例如,Levine 等^[21]利用植物悬浮细胞体系,对植物与细菌的小种专化性互作和非寄主互作过程中的活性氧迸发的研究发现,该过程由两阶段组成。第一阶段的活性氧迸发相对弱,持续时间短,亲和或非亲和性病菌都能诱导产生。相比之下,第二阶段的活性氧迸发要比第一阶段大、持续时间长。王晨芳^[22]等在小麦和条锈菌互作的研究中,发现过氧化氢高峰滞后于超氧阴离子自由基高峰约 8h。陈祖静^[23]在杨树与松杨栅锈菌互作研究中,同样发现 O_2^- 高峰大约在 12h 出现,且 H_2O_2 的出现时间较 O_2^- 滞后半天。Miller 等^[24]发现用非亲和性丁香假单胞菌分别接种到大豆和菜豆的叶片上,在 12h 激发活性氧产生,对于 O_2^- 和 H_2O_2 产生的原因,均与植物内部激发子产生和侵染菌丝的形成有关。Hückelhoven^[25]认为 H_2O_2 可能会较早产生小高峰,其产生可能与孢子萌发时产生的芽管,并由病菌释放的小激发子有关。 O_2^- 的产生是由病原菌侵染到寄主内部后,与寄主细胞膜接触,促使其大量产生 O_2^- 。接种后 12h 正是病原菌孢子萌发后的侵染植株形成附着胞的阶段,所以 O_2^- 的含量即达到一个峰值^[26-27]。据此,我们推测,苹果脱乙酰几丁质发酵液处理的叶片在病原菌侵染早期具有较强的诱导活性氧的能力。

在植物的保护酶系中,SOD、CAT 和 POD 分别是清除 O_2^- 和 H_2O_2 的重要酶类。ACFB 和 CHN 处理后,苹果幼树叶片在斑点落叶病侵染后 SOD 活性一直维持在高水平,且与 O_2^- 含量呈现显著的正相关关系($r=0.51^*$),说明叶片在诱导 ROS 产生、抑制斑点落叶病原菌侵染的前期,SOD 活性的提高,调控了 ROS 过度形成及链式氧化反应,避免了其对细胞产生伤害。叶片 CAT 活性虽然和 H_2O_2 的含量呈现出显著的正相关关系($r=0.50^*$),但苹果脱乙酰几丁质发酵液和脱乙酰几丁质制备液处理 CAT 活性比清水低,一方面说明植物自身的防御机制的存在,另一方面说明 CAT 对苹果脱乙酰几丁质发酵液和脱乙酰几丁质制备液处理不敏感。抗氧化代谢中的 POD 是 H_2O_2 的清除剂,同时也可以清除氧化代谢中的其它自由基。叶片被感染斑点落叶病之后,其活性一直较高,且与 H_2O_2 含量、 O_2^- 含量呈现显著的正相关关系($r=0.71^{**}$, $r=0.45^*$),说明它可能具有阻断 H_2O_2 、 O_2^- 对细胞进一步的氧化作用,使叶片在形态上出现细胞壁的木质化、蛋白质的交联现象^[28]及病斑边缘的分界明显化现象。

5 结论

(1) 苹果脱乙酰几丁质发酵液可显著提高苹果幼树叶片对苹果斑点落叶病的抗性。

(2) 苹果脱乙酰几丁质发酵液可诱导苹果幼树叶片 ROS 的产生、木质素和交联蛋白的沉积,同时诱导 SOD 和 POD 活性的提高,可能使叶片在遭受病原菌感染时能通过 ROS 提高阻止病菌的进一步侵染,同时在 SOD、POD 的作用下避免 ROS 对细胞的氧化伤害。

References:

- [1] Liu M J, Ji Q L, Yao Y C. The Application Status of Induced Plant in Organic Fruit Production. Northern Horticulture, 2008(12): 196-197.

- [2] Cui N N. Effect on Development of Growth, Fruit Quality and Disease Resistance of Aromatic Plant-orgined Nutrient Solution on Pear Plant *Pyrus pyrifolia* (Burm. f.) Nakai [D]. Bei Jing: Master's Dissertation of Beijing University of Agriculture, 2009.
- [3] Huang W J, Qi Y P, Wang R J, Wu H Y, Yao Y C, Ji Q L. Dynamic analysis of nutrition component in the process of apple fruit fermentation Journal of Beijing University of Agriculture, 2009, 1: 1-4.
- [4] Jiang R, Liu M J, Zhang J, Ji, Q L, Kong Y, Yao Y C. Effects of Apple Nutrient Solutions on the Growth and Disease Resistance in Apple. 28th International Horticultural Congress, (2010, Lisbon) Abstracts, S14. 267.
- [5] Dai M L, Li S T, Han Z H, Xu X F, Zhang X Z, Li T Z. Effects of plant-derived nutrient solutions on the growth and fruit quality of 'Xue qing' pear. Journal of China Agricultural University, 2008, 13(5): 19-23.
- [6] Geng J, Cui N N, Zhang J, Zhou Z Q, Yao Y C. Effect of aromatic plant-derived nutrient solution on the growth, fruit quality and disease prevention of pear trees. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(5): 1285-1294.
- [7] Wang W J, Zhao J Z, Wei C J, Wang C N, Jia L F, Wang J. BTH-induced resistance to *Alternaria alternata* f. mal in apple. Journal of Fruit Science, 2008, 25(3): 362-366.
- [8] Lin A J, Zhang X H, Chen M M. Oxidative stress and DNA damages induced by cadmium accumulation. Journal of Environmental Sciences, 2007, 19: 596-602.
- [9] Fang Z D. Research method of plant disease. Beijing China Agriculture Press, 2008.
- [10] Sun G Y, Zong Z F. Experimental technology of phytopathology [D]. Beijing China Agriculture Press, 2002.
- [11] Guan L M, Scandalios J G. Hydrogen peroxide-mediated catalase gene expression in response to wounding. Free Radic Biol Med. 2000, 28: 1182-1190.
- [12] Mingsheng Peng, Darryl Hudson, Andrew Schofield. Adaptation of Arabidopsis to nitrogen limitation involves induction of anthocyanin synthesis which is controlled by the NLA gene. Journal of Experimental Botany, 2008, Vol. 59(11): 2933-2944.
- [13] David De Vleeschauwer, Mohammad Djavaheri, Peter A H M Bakker. Pseudomonas fluorescens WCS374r-Induced Systemic Resistance in Rice against Magnaporthe oryzae Is Based on Pseudobactin - Mediated Priming for a Salicylic Acid - Repressible Multifaceted Defense Response. Plant Physiology, 2008, December Vol. 148: 1996-2012.
- [14] Wang A G, Luo G H. Quantitative Relation between the reaction of hydroxylamine and superoxide anion radicals in plants. Plant Physiology Communications, 1990(6): 55-57.
- [15] Lin Z F, Li S S, Lin G Z, Guo J Y. The relationship between accumulation of H₂O₂ in senescent leaves and chl-oplasts and lipid peroxidation. Journal of Plant Physiology and Molecular Biology, 1988, 14(1): 16-22.
- [16] Zhang Z L. phytophysiology Laboratory procedure. Beijing Higher Education Press, 2003.
- [17] Hu X Y, Fang J Y, Ca W M. Oxidative burst and saponin synthesized in ginseng cells induced by deacetylation of chitin were mediated by Mitogen-activated protein kinase. Science in China, 2004, 34(1): 31-40.
- [18] Sun J B, Wang Y G, Li W, Peng M. Screening and identification of chitinase-producing bacterium and its antagonistic activity against Fusarium oxysporum f. sp. cubense. Journal of Fruit Science, 2010, 27(3): 427-430.
- [19] Qi Y P, Wang R J, Yao Y C, Ji Q L. Studies on the effects of iron-rich apple fermentation broth on protective enzymes activities of Malus hupehensis under iron-deficiency stress. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2010, 26(15): 1-5.
- [20] Guo Z J, Wang D B. Active Oxygen Species in Plant Disease Resistance. Acta Botanica Sinica, 2000, 42(9): 881-891.
- [21] Levine A, Tenhaken R, Dixon RA, Lamb C. H₂O₂ from the oxidative burst orchestrates the plant hypersensitive response. Cell, 1994, 79: 583-593.
- [22] Wang C F. Studies on histology and cytochemistry of oxidative burst during wheat-Puccinia Striiformis F. SP. Tritici Interaction [D]. Yang Ling: Doctoral Dissertation of Northwest A & F University, 2008.
- [23] Chen Z J, Cao Z M, Gou X Q, Jiang Z R. Dynamic changes of the host in interaction between the poplar and *Melampsora larici-populina* Science Silvae Sinicae, 2010, 46(8): 101-106.
- [24] Miller G, Shulaev V, Mittler R. Reactive oxygen signaling and abiotic stress. Physiologiae Plantarum, 2008, 13: 481-489.
- [25] Hükelhoven R, Fodor J, Preis C. Hypersensitive cell death and papilla formation in barley attacked by the powdery mildew fungus are associated with H₂O₂ but not with salicylic acid accumulation. Plant Physiology, 1999, 119: 1251-1260.
- [26] Pnueli L, Hongjian L, Mittler R. Growth suppression, abnormal guard cell response, and augmented induction of heat shock protein in cytosolic ascorbate peroxidase (Apx1)-deficient Arabidopsis plants. Plant J, 2003, 34: 187-203.
- [27] Hükelhoven R, Kogel K H. Tissue-specific superoxide generation at interaction sites in resistant and susceptible near isogenic barley lines attacked by the powdery mildew fungus (*Erysiphe graminis f. sp. hordei*). Molecular Plant Microbe Interact, 1998, 11: 292-300.
- [28] Jiang X L, Li Z Q, Kang Z S. The recent Progress of Research on peroxidase in plant disease resistance. Journal of Northwest Agriculture and Forestry University, 2001, 29(6): 124-129.

参考文献:

- [1] 柳明娟,姬谦龙,姚允聪.北京有机水果生产中驱诱植物的应用现状.北方园艺,2008(12):196-197.
- [2] 崔楠楠.芳香植物营养液对沙梨生长发育、果实品质及抗病性的影响[D].北京:北京农学院农学硕士学位论文,2009.
- [3] 黄伟菁,戚亚平,王荣娟,吴红英,姚允聪,姬谦龙.苹果果实匀浆发酵过程中营养组分的动态变化分析.北京农学院学报,2009,24(1):1-4.
- [5] 代明亮,李松涛,韩振海,许雪峰,张新忠,李天忠.植物源营养液对‘雪青梨’生长及果实品质的影响.中国农业大学学报,2008,13(5):19-23.
- [6] 耿建,崔楠楠,张杰,周志钦,姚允聪.喷施芳香植物源营养液对梨树生长、果实品质及病害的影响.生态学报,2011,31(5):1285-1294.
- [7] 王文娟,赵建庄,魏朝俊,王春娜,贾临芳,王静.苯并噻二唑(BTH)对苹果抗斑点落叶病的诱导.果树学报,2008,25(3):362-366.
- [9] 方中达.植病研究法.北京:中国农业出版社,2008年.
- [10] 孙广宇,宗兆锋.植物病理学实验技术[D].北京:中国农业出版社,2002.
- [14] 王爱国,罗广华.植物的超氧化物自由基与羟胺反应的定量关系.植物生理学通讯,1990,(6):55-57.
- [15] 林植芳,李双顺,林桂珠,郭俊彦.衰老叶片和叶绿体中 H_2O_2 的积累与膜脂过氧化的关系.植物生理学报,1988,14(1):16-22.
- [16] 张志良.植物生理学实验指导.北京:高等教育出版社,2003.
- [17] 胡向阳,方建颖,蔡伟明.丝裂原活化蛋白激酶介导脱乙酰几丁质诱导的人参细胞氧迸发与皂苷合成.中国科学,2004,34(1):31-40.
- [18] 孙建波,王宇光,李伟,彭明.产几丁质酶香蕉枯萎病拮抗菌的筛选、鉴定及抑菌作用.果树学报,2010,27(3):427-430.
- [19] 戚亚平,王荣娟,姚允聪,姬谦龙.富铁苹果发酵液对缺铁胁迫下平邑甜茶保护酶活性的影响.中国农学通报,2010,26(18):201-205.
- [20] 郭泽建,李德葆.活性氧与植物抗病性.植物学报,2000,42(9):881-891.
- [22] 王晨芳.小麦与条锈菌互作过程中活性氧迸发的组织学和细胞化学研究[D].杨凌:西北农林科技大学博士学位论文,2008.
- [23] 陈祖静,曹支敏,苟兴庆,姜自如.杨树与松杨栅锈菌互作中寄主活性氧及抗性相关酶变化.林业科学,2010,46(8):101-106.
- [28] 蒋选利,李振岐,康振生.过氧化物酶与植物抗病性研究进展.西北农林科技大学学报,2001,29(6):124-129.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 7 April, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

Theoretical framework and key techniques of urban ecological landscape research	SUN Ranhao, XU Zhongliang, CHEN Liding, et al (1979)
Response of sinapate esters in <i>Arabidopsis thaliana</i> to UV-B radiation	LI Min, WANG Yin, MU Xiaofei, et al (1987)
Biosorption of lead (II) and cadmium (II) from aqueous solution by <i>Chlorella pyrenoidsa</i> and its influential factors	JIANG Jing, LI Liang, LI Haipeng, et al (1995)
Response of pear jujube trees on fruit development period to different soil water potential levels	HAN Lixin, WANG Youke, ZHANG Linlin (2004)
An approach for analyzing resources metabolism of industrial ecosystems	SHI Xiaoqing, YANG Jianxin, WANG Rusong, et al (2012)
Establishment of environmental sustainability assessment indicators based on material flow and ecological footprint model in Tongling City of Anhui Province	ZHAO Huihui, WANG Yuan, GU Xueming, et al (2025)
Health status evaluation of the farmland supply function at county level in Hebei Province	BAI Linhong, WANG Wei, ZHANG Yu (2033)
Inhibition effects and mechanisms of the endophytic fungus <i>Chaetomium globosum</i> L18 from <i>Curcuma wenyujin</i>	WANG Yanhong, WU Xiaomin, ZHU Yanping, et al (2040)
Water use of walnut-wheat intercropping system based on stable carbon isotope technique in the low hilly area of North China	HE Chunxia, MENG Ping, ZHANG Jinsong, et al (2047)
Spatial heterogeneity of soil microbial biomass carbon, nitrogen, and phosphorus in sloping farmland in a karst region on the Yunnan-Guizhou Plateau	ZHANG Liqing, PENG Wanxia, SONG Tongqing, et al (2056)
Relationship among rice root aerenchyma, root radial oxygen loss and rhizosphere nitrification	LI Yilin (2066)
Effects of <i>Eriosoma lanigerum</i> (Hausmann) on physiological indices of different apple cultivars	WANG Xicun, YU Yi, ZHOU Hongxu, et al (2075)
Effects of P-efficient transgenic soybean on rhizosphere microbial community	JIN Lingbo, ZHOU Feng, YAO Juan, et al (2082)
Detecting major phenological stages of rice using MODIS-EVI data and Symlet11 wavelet in Northeast China	XU Yanyan, ZHANG Jiahua, YANG Limin (2091)
Cropping system optimization based on the comparative analysis of precipitation utilization in Sichuan Province	WANG Mingtian, QU Huihui, YANG Xiaoguang, et al (2099)
The impacts of global climatic change on chilling damage distributions of maize in Northeast China	GAO Xiaorong, WANG Chunyi, ZHANG Jiquan (2110)
Effect of fertilization on ammonia volatilization from paddy fields in Chao Lake Basin	ZHU Xiaohong, MA Zhongwen, MA Youhua, et al (2119)
Effects of arbuscular mycorrhizal fungus on net ion fluxes in the roots of trifoliate orange (<i>Poncirus trifoliata</i>) and mineral nutrition in seedlings under zinc contamination	XIAO Jiaxin, YANG Hui, ZHANG Shaoling (2127)
The effect of red:far red ratio on the stomata characters and stomata conductance of <i>Chrysanthemum</i> leaves	YANG Zaiqiang, ZHANG Jing, JIANG Xiaodong, et al (2135)
Dynamic characteristics of litterfall and nutrient return of four typical forests along the altitudinal gradients in Mt. Shennongjia, China	LIU Lei, SHEN Guozhen, CHEN Fangqing, et al (2142)
Aboveground litter contribution to soil respiration in a black locust plantation in the Loess Plateau	ZHOU Xiaogang, GUO Shenli, CHE Shengguo, et al (2150)
Life history and spatial distribution of a <i>Taiwania flousiana</i> population in Leigong Mountain, Guizhou Province, China	CHEN Zhiyang, YANG Ning, YAO Xianming, et al (2158)
The feasibility of using LAS measurements of the turbulence structure parameters of temperature above a forest canopy	ZHENG Ning, ZHANG Jinsong, MENG Ping, et al (2166)
Spatial distribution of vegetation and carbon density in Jinyun Mountain Nature Reserve based on RS/GIS	XU Shaojun, ZENG Bo, SU Xiaolei, et al (2174)
Early nitrogen deposition effects on CO ₂ efflux from a cold-temperate coniferous forest soil	WENDU Runa, FANG Huajun, YU Guirui, et al (2185)
Epilithic diatom assemblages distribution in Gui River basin, in relation to chemical and physiographical factors	DENG Peiyan, LEI Yuanda, LIU Wei, et al (2196)
Acute stress caused by sand discharging on Yellow River Carp (<i>Cyprinus carpio</i>) in Xiaolangdi Reservoir	SUN Luyin, Baiyinbaoligao, NIU Cuijuan, et al (2204)
Environmental cost of pond aquaculture in Shanghai: an empirical analysis based on double-bounded dichotomous CVM method	TANG Keyong, YANG Zhengyong, YANG Huaiyu, et al (2212)
Host searching behaviour of <i>Apanteles cypris</i> Nixon (Hymenoptera: Braconidae) ...	ZHOU Hui, ZHANG Yang, WU Weijian (2223)
The effect of hedgerows on the distribution of <i>Harmonia axyridis</i> Pallas in agroforestry systems	YAN Fei, ZHOU Zaibao, WANG Shuo, et al (2230)
Induction of early resistance response to <i>Alternaria alternata</i> f. sp. <i>mali</i> in apple leaves with apple and chitosan fermentation broth ...	WANG Rongjuan, YAO Yuncong, QI Yaping, et al (2239)
Review and Monograph	
Research into vulnerability assessment for coastal zones in the context of climate change	WANG Ning, ZHANG Liquan, YUAN Lin, et al (2248)
Introduction and ecological effects of an exotic mangrove species <i>Sonneratia apetala</i>	PENG Yougui, XU Zhengchun, LIU Minchao (2259)
Discussion	
Degradation of organic contaminants with biological aerobic fermentation in sewage sludge dewatering and its influencing factors	YU Jie, ZHENG Guodi, GAO Ding, et al (2271)
Remediation of soils contaminated with polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) using four greening tree species	YAN Wende, LIANG Xiaocui, ZHENG Wei, et al (2279)
Scientific Note	
Diversity of endophytic fungi from six dominant plant species in a Pb-Zn mine wasteland in China	LI Dongwei, XU Hongmei, MEI Tao, et al (2288)
Effects of <i>Meloidogyne incognita</i> on scavenging system of reactive oxygen species in tomato seedlings grafted with different rootstocks ...	LIANG Peng, CHEN Zhende, LUO Qingxi (2294)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 元。

国内邮发代号:82-7 国外邮发代号:M670 标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 32 卷 第 7 期 (2012 年 4 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 7 2012

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:1000717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元